

(様式第5号)

X線トポグラフィーによるSiCウェーハの結晶欠陥評価(Ⅱ) X-ray Topographic Study on defects in SiC Wafers (II)

紀世陽, 松畑洋文, 山口博隆

Shiyang Ji, Hirofumi Matsuhata, Hirotaka Yamaguchi

産業技術総合研究所 先進パワーエレクトロニクス研究センター

¹R&D Partnership for Future Electronics Technology (FUPET),

²National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

- ※1 先端創生利用(長期タイプ、長期トライアルユース、長期産学連携ユース)課題は、実施課題名の末尾に期を表す(Ⅰ)、(Ⅱ)、(Ⅲ)を追記してください。
- ※2 利用情報の開示が必要な課題は、本利用報告書とは別に利用年度終了後二年以内に研究成果公開(論文(査読付)の発表又は研究センターの研究成果公報で公表)が必要です。(トライアルユース、及び産学連携ユースを除く)

1. 概要 (注: 結論を含めて下さい)

Al高濃度ドーパ($3.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$) 4H-SiC厚膜の結晶評価をX線トポグラフィーとエッチピット観察によりおこなった。厚膜表面を研磨除去して成長の途中段階を表面にだすことによって、各段階の欠陥を比較した。成長の初期段階に基板中の基底面転位は貫通刃状転位に転換するとともに、不整合転位が発生し格子緩和が起こることが観察された。

Defects in heavily Al-doped 4H-SiC thick films have been studied by using X-ray topography and etch pit observations. Thick epilayers were mechanically polished to inspect the defects in the layers of early stage of the growth. It was found that basal plane dislocations in the substrate were converted to threading edge dislocations and epilayer lattice was relaxed by generating misfit dislocations in the early stage of the growth.

2. 背景と目的

4H-SiCは絶縁ゲートバイポーラトランジスタ(IGBT)など、10 kV以上の高耐圧素子への応用が期待されている[1]。性能の優れたnチャンネルIGBTには低抵抗のp型基板が必要であり、それは抵抗率 $10 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ 、アクセプター濃度 10^{19} cm^{-3} と見積もられている[2]。しかし、現状のp⁺ウェーハの抵抗率は $2.5 \Omega \cdot \text{cm}$ 程度であり、2ケタ近く高い。最近、紀らは平坦な高濃度AlドーパSiC厚膜(厚さ $90 \mu\text{m}$)を成長し、Al濃度 $3.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ で抵抗率 $16.5 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ を実現した[3, 4]。しかし、Al濃度 $3.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上では抵抗率が下げ止まり、これは結晶欠陥が一因と考えられる。Al高濃度ドーパ膜については、臨界膜厚や転位密度について報告がある[5, 6]。本研究では、Al高濃度厚膜の結晶欠陥や構造の評価をおこない、成長初期過程での欠陥の生成や格子の歪みを評価した。この中で、結晶欠陥観察にはX線トポグラフィーを用い、事後の溶融KOHによるエッチピット観察と合わせて評価した。X線トポグラフィーは斜入射の表面敏感な条件でおこない、厚膜表面を研

磨して膜の成長初期面を表面にだすことにより、成長初期段階を観察した。

3. 実験内容（試料、実験方法、解析方法の説明）

3インチ径8°傾斜Si面n型SiCウェーハ上に90μmの厚膜を水平ホットウォールCVD装置により成長した。成長前のウェーハについてのX線トポグラフィーは、波長0.15nmの単色X線を利用し、 $\bar{1}\bar{1}28$ 反射によって表面近傍の転位分布を詳細に評価した。厚膜成長後、ウェーハを5×5mm²の小片に切り、表面を研磨して厚さが60μm、30μm、10μmとなる小片を作製した。これらのX線トポグラフィー、エッチピット観察、高分解能X線回折などから、成長の各段階の結晶性や欠陥を評価した。

4. 実験結果と考察

Al濃度 3.5×10^{20} cm⁻³の膜成長後の転位観察では、基底面転位（BPD）はほとんど見られず、エピタキシャル成長の初期段階に貫通刃状転位（TED）に転換されていることがわかった。図1は成長過程のX線トポグラフィーとエッチピットの顕微鏡写真を示している。エッチピットが示すように、膜厚10μmではBPDが観察されるが、膜厚30μm以上ではほとんど見られなくなる。これから、30μmまでの成長の間にBPDはTEDに変換されていることがわかる。一方、膜厚10μmのX線トポグラフ（ c_2 ）には明瞭な縦方向（エピタキシャル成長方向 $[1\bar{1}20]$ に直交）のスジが見られる。これは高濃度膜との格子定数差が原因の不整合転位としての刃状転位と考えられる。膜厚30μmでは不明瞭になっており、膜厚60μmでは完全に消失していることから、10μm未満の臨界膜厚で格子緩和が起こったことを示している。0004反射のロックンブグカーブは半値幅が14arcsecであり、結晶性のよいAl高濃度厚膜であることがわかった。

5. 今後の課題

Al濃度 3.5×10^{20} cm⁻³では高品質の厚膜成長が可能であることを示した。高品質で要求を満たすドーピング濃度の膜を実現するためには、他の種類の欠陥も含めて、さらに検討を進める必要がある。

6. 参考文献

- [1] Q. C. Zhang, A. K. Agarwal, Phys. Status Solidi A 206 (2009) 2431.
- [2] M. A. Fanton, B. E. Weiland, J. M. Redwing, J. Cryst. Growth 310 (2008) 4088.
- [3] S.Y. Ji, K. Kojima, Y. Ishida, H. Tsuchida, S. Yoshida and H. Okumura, Mate. Sci. Forum, 740 (2013) 181.
- [4] S.Y. Ji, K. Kojima, Y. Ishida, S. Saito, T. Kato, H. Tsuchida, S. Yoshida and H. Okumura, J. Cryst. Growth 380(2013)85.
- [5] S. W. Huh, H. J. Chung, M. Benamara, M. Skowronski, J. J. Sumakeris and M. J. Paisley, J. Appl. Phys. 96 (2004) 4637.
- [6] B. Kallinger, P. Berwian, J. Friedrich, G. Müller, A-D. Weber, E. Volz, G. Trachta, E. Spiecker, B. Thomas, J. Cryst. Growth 349 (2012) 43.

7. 論文発表・特許（注：本課題に関連するこれまでの代表的な成果）

- S.Y. Ji, K. Kojima, Y. Ishida, H. Tsuchida, S. Yoshida and H. Okumura, Mate. Sci. Forum, 740 (2013) 181.
- S.Y. Ji, K. Kojima, Y. Ishida, S. Saito, T. Kato, H. Tsuchida, S. Yoshida and H. Okumura, J. Cryst. Growth 380(2013)85.

8. キーワード (注: 試料及び実験方法を特定する用語を2~3)

SiC, X線トポグラフィー、低抵抗厚膜

9. 研究成果公開について (注: ※2に記載した研究成果の公開について①と②のうち該当しない方を消してください。また、論文(査読付)発表と研究センターへの報告、または研究成果公報への原稿提出時期を記入してください(2013年度実施課題は2015年度末が期限となります。)
長期タイプ課題は、ご利用の最終期の利用報告書にご記入ください。

① 論文(査読付)発表の報告: 印刷中

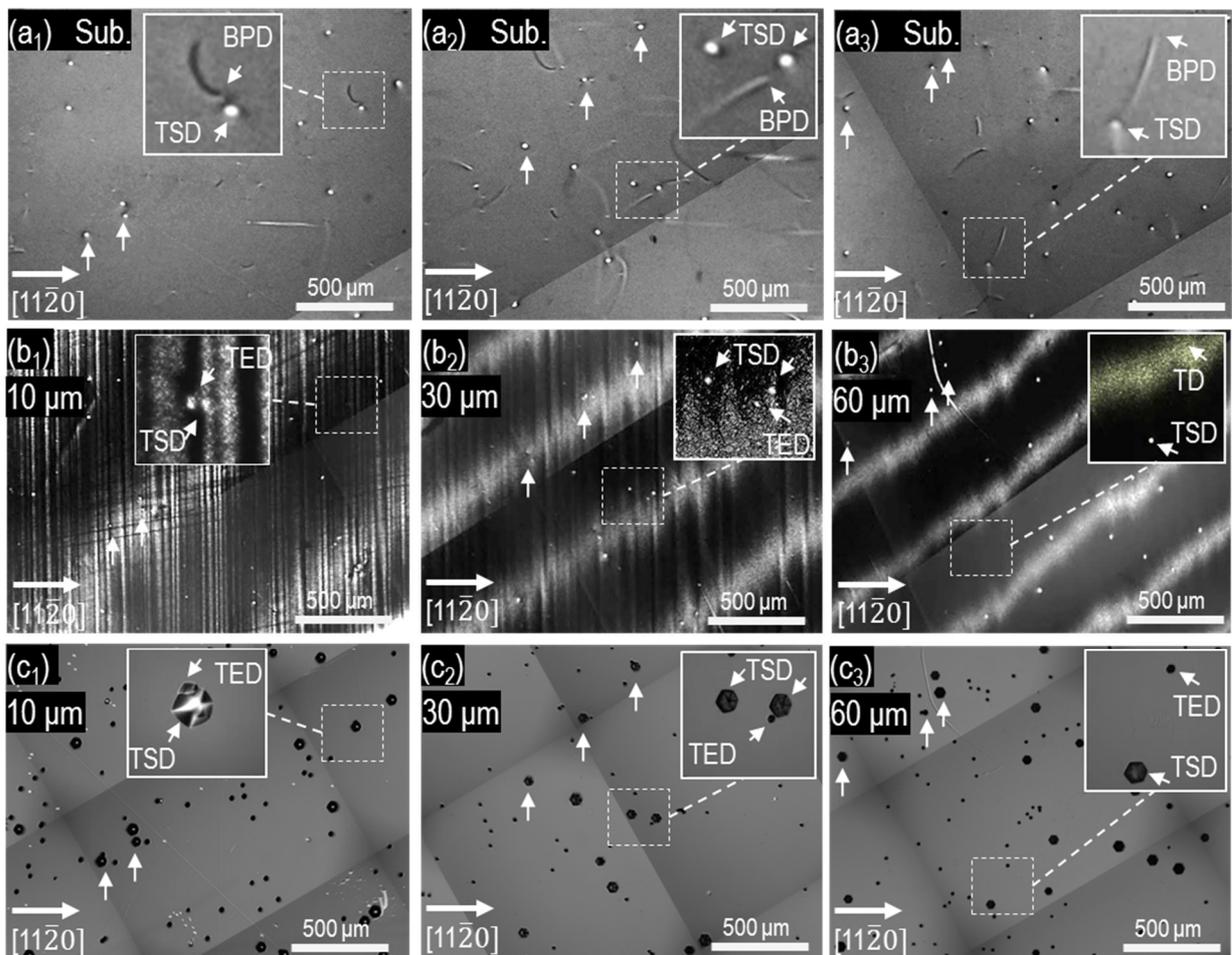


図1 エピ膜成長前のウェーハのX線トポグラフ ($\bar{1}\bar{1}20$ 反射) (a₁)、その上に成長されたエピ膜を厚さ 10 μm に研磨したときのX線トポグラフ ($2\bar{1}18$ 反射) (b₁)、その表面のエッチピット(c₁)。同様に、エピ膜を厚さ 30 μm (a₂-c₂)、厚さ 60 μm (a₃-c₃) に研磨したときの評価結果。